

# En perspectiva: papel de la evaluación de la seguridad y el control de riesgos

*Análisis sistemático unificado puede contribuir a mejorar la gestión de los riesgos industriales para la prevención de accidentes*

por Antonio Novegno y Ephraem Asculai

El creciente interés mundial por los problemas ambientales y los accidentes graves han sido paralelos a los resultados tangibles del empleo de la tecnología moderna. Si bien la industrialización ha dado lugar a un aumento espectacular de la esperanza de vida en todos los países, también ha tenido efectos perjudiciales sobre el entorno humano y agrava los riesgos industriales y sociales.

Cuando comenzó la Revolución Industrial se reflexionó poco acerca de los efectos de la industrialización en las personas y el medio ambiente, incluida la salud y

el bienestar de los trabajadores y del público en general. Los efectos ambientales fueron los últimos en despertar interés, sobre todo en la segunda mitad del siglo XX.

A lo largo de su historia la humanidad ha tenido que aceptar los desastres naturales como parte de la vida. Además de esas calamidades, que suelen culminar en grandes pérdidas de vidas, otros accidentes menos graves provocan pérdidas económicas, lesiones y muertes. Juntos, estos dos tipos de accidentes son con mucho la causa principal de las pérdidas de vidas por accidente. Es preciso prestar más atención a la prevención de grandes accidentes, cuyas consecuencias tienen una mayor envergadura. (Véase el cuadro anexo.)

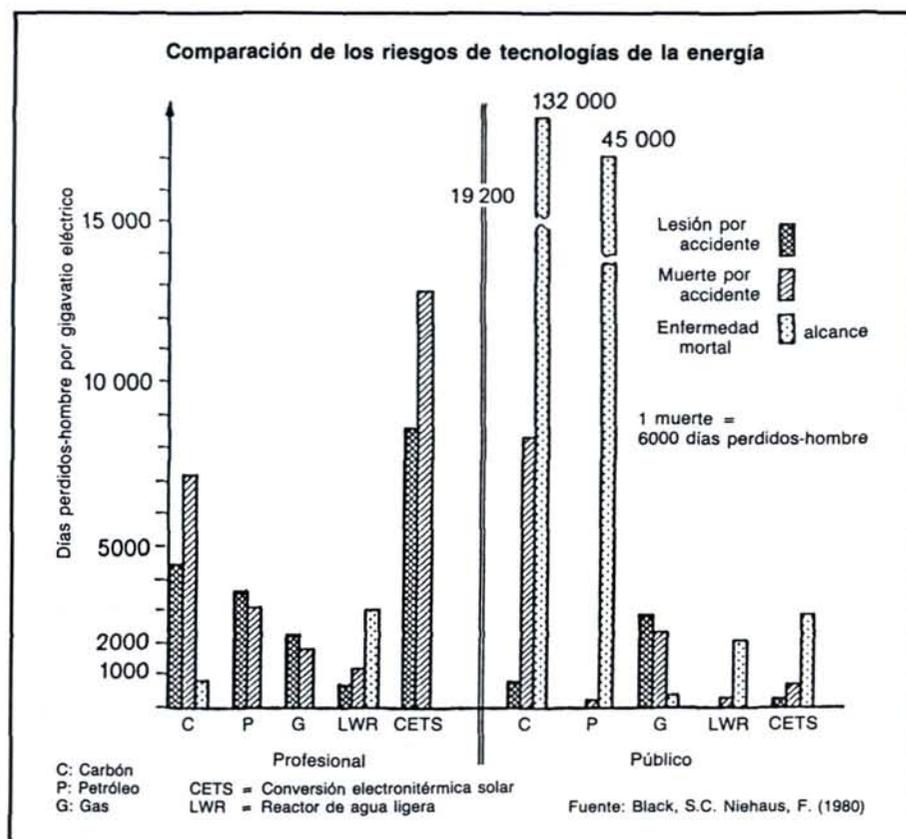
Los efectos más importantes de la tecnología moderna sobre la salud pública tienen su origen en la exposición prolongada y crónica a emanaciones de contami-

Los señores Novegno y Asculai son funcionarios de la Sección de Evaluación de Riesgos y Fiabilidad de la División de Seguridad Nuclear del Organismo.

### Algunos accidentes industriales con consecuencias graves, 1976—1986

Accidente	Consecuencias
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Seveso, Italia, 10 de julio de 1976</i> En una planta química se produjo una reacción química que ocasionó una explosión de 0,5 a 10 kg de dioxina altamente venenosa que se esparció en una superficie de 18 kilómetros cuadrados.</li></ul>	Fue preciso evacuar a más de 1000 personas. No hubo muertos. La dioxina deformó a muchos niños al provocarles erupciones en la piel (acné por cloro). Otros efectos fueron abortos espontáneos y contaminación de los suelos.
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>San Carlos de la Rápita, España, 11 de julio de 1978</i> Un camión de 38 toneladas, sobrecargado con unos 45 metros cúbicos de gas propileno inflamable explotó al chocar contra la pared de un lugar de campismo; las llamas alcanzaron 30 metros de altura.</li></ul>	215 muertos
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Cubatão, Brasil, 25 de febrero de 1984</i> Un oleoducto sufrió daños; la gasolina al escaparse explotó, lo que ocasionó una bola de fuego gigantesca.</li></ul>	Al menos 500 muertos
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>México D.F., México, 19 de noviembre de 1984</i> Contenedores con gas líquido explotaron en los depósitos de San Juan Ixhuatepec (gigantesca explosión de gas).</li></ul>	Hubo 452 muertos y 4248 heridos. Hubo unos 1000 desaparecidos que se dan por muertos.
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Bhopal, India, 17 de diciembre de 1984</i> Se produjo un escape de un gas venenoso (metilisocianida) de una fábrica de productos petroquímicos que fabricaba una sustancia insecticida. Este gas venenoso se esparció sobre una superficie de 40 kilómetros cuadrados.</li></ul>	2500 muertes por envenenamiento y el mismo número en condiciones críticas de salud. Fue preciso tratar en hospitales a unas 150 000 personas. Efectos a largo plazo como ceguera, trastornos mentales permanentes, lesiones hepáticas y renales, y malformaciones embrionarias.
<ul style="list-style-type: none"><li>● <i>Chernobil, URSS, 26 de abril de 1986</i> Se produjo un transitorio de potencia en la cuarta unidad de la central nuclear de Chernobil, que causó una explosión de vapor, la destrucción del reactor y una grave contaminación del medio ambiente por radionucleidos liberados del combustible del reactor.</li></ul>	31 personas muertas y 203 hospitalizadas por enfermedades graves causadas por la radiación y 135 000 personas evacuadas. Se calculó en $2,9 \times 10^7$ rem-hombre la dosis equivalente efectiva comprometida colectiva máxima para la parte europea de la URSS.

Nota: Cuadro basado en parte en Chakraborty, S. "En qué medida se pueden cuantificar los riesgos catastróficos", *Risikountersuchungen als Entscheidungsinstrument* (1985).



una planta o explotación industrial aislada, sino también en complejos industriales y explotaciones regionales cuando están muy próximos entre sí o cuando puede haber influencia mutua y sobre el mismo medio ambiente.

**Estudios comparativos de los riesgos en los sistemas energéticos**

En el último decenio los efectos de diferentes tecnologías energéticas sobre la salud y el medio ambiente han pasado a ocupar un lugar importante en el debate público sobre los sistemas energéticos. Los estudios comparativos sobre los riesgos y las consecuencias de la generación de energía nuclear, termoeléctrica a partir de carbón o petróleo e hidroeléctrica han permitido colocar en una perspectiva correcta los riesgos que conlleva la energía.

nantes en los alrededores de los complejos industriales, en particular los sistemas de producción de energía.

Además de estos problemas ambientales fácilmente discernibles, surge otro conjunto de problemas nuevos, tal vez con efectos más generales y de mayor alcance. Entre otro cabe citar los problemas de la "lluvia ácida" que afecta a la silvicultura y la agricultura; el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que tiene efectos económicos graves en diversos materiales; las concentraciones en la atmósfera de fluorhidrocarburos y el dióxido de carbono, que pueden influir de modo perdurable y grave en el clima mundial así como en la vida y en la calidad de ésta durante futuras generaciones.

Los problemas ambientales derivados de la tecnología guardan relación realmente con la seguridad, puesto que raras son las veces en que en las consecuencias ambientales, sociales y económicas no haya implícitas cuestiones de seguridad. Esto se hace aún más evidente en el caso de las emanaciones accidentales y sus efectos sobre el medio ambiente que, en general, son el resultado de diseños o sistemas deficientes de seguridad o relacionados con ella.

Estos dos tipos de consecuencias sobre el medio ambiente, derivadas de la explotación industrial común y de las emanaciones accidentales, guardan relación entre sí. La gestión de uno de estos tipos de riesgo repercutirá en el otro. Por ejemplo, una mejor seguridad ambiental puede significar un mayor riesgo profesional para los trabajadores que tienen que fabricar, instalar y entretejer el nuevo equipo de seguridad.

Por ello, la gestión de estos riesgos requiere un método integrado que contemple todas las causas y posibles resultados. Esto hay que hacerlo no sólo en el caso de

El objetivo fundamental de esos estudios es suministrar a los planificadores de la energía la información científica relativa a uno de los diversos factores que influyen en la adopción de decisiones con respecto a los sistemas energéticos, a nivel nacional e internacional.

Los primeros estudios se centraron en aspectos concretos de los riesgos que entrañaba la producción de energía y posteriormente, en el marco conceptual, los aspectos metodológicos y la disponibilidad de datos. En fecha más reciente se particularizaron problemas concretos como los riesgos nucleares, las emisiones de anhídrido sulfuroso, la lluvia ácida, la radiactividad en el carbón y la radiación de bajo nivel. Por último, se estudiaron la cuantificación y la comparación de los diversos detrimentos para la salud, los efectos permanentes y las consecuencias de accidentes excepcionales.

Se puso mucho empeño en elaborar modelos que simularan la dispersión lejana de contaminantes suspendidos en el aire y el enriquecimiento mediante cadenas de alimentos terrestres. La falta de amplios estudios epidemiológicos limitó el establecimiento de relaciones dosis-efecto necesarias para evaluar por completo los riesgos para la salud. Quedan por resolver algunos aspectos de la comparación de los riesgos debido fundamentalmente a la escasez de datos, a la complejidad de los estudios comparativos de la salud y del medio ambiente, a la imprecisión de los datos y al conocimiento deficiente de los métodos y el manejo de la información.

Dado que las conclusiones que se pueden extraer de esas comparaciones generales son muy limitadas, en estudios posteriores se trató de comparar solamente las tecnologías de suministro energético. (Véase el gráfico adjunto.)

Ahora bien, pese a las numerosas imprecisiones de esas evaluaciones, las conclusiones generales a las que se ha arribado son válidas y presentan una clasificación precisa de los sistemas energéticos según las distintas dimensiones del riesgo. Con todo, cabe reconocer que el valor más importante de las comparaciones de los riesgos para diversas fuentes de energía no radica en los resultados generales, sino en establecer cuáles son los principales factores de riesgo en cada uno de los ciclos del combustible investigados.

Asimismo es importante reconocer que una comparación cuantitativa del riesgo/dimensión de las consecuencias en relación con diferentes sistemas energéticos no puede influir de modo decisivo en las autoridades a la hora de definir los planes energéticos nacionales. De hecho, muchos otros aspectos contribuyen, de manera compleja, a que el país determine contar con una "combinación energética". Entre estos aspectos figuran la demanda de energía, el comercio internacional, el desarrollo industrial, la situación económica, la balanza de pagos, la seguridad de los suministros, los costos de capital y otros. Por esa razón, se propuso que el análisis riesgo/consecuencias especialmente en cuanto a la gestión de los riesgos, podría desempeñar un importante papel en la planificación nacional de empresas eléctricas donde, por ejemplo, es preciso decidir sobre una base nacional o regional las características tecnológicas concretas y la localización.

### De las comparaciones de los riesgos a la "gestión de los riesgos"

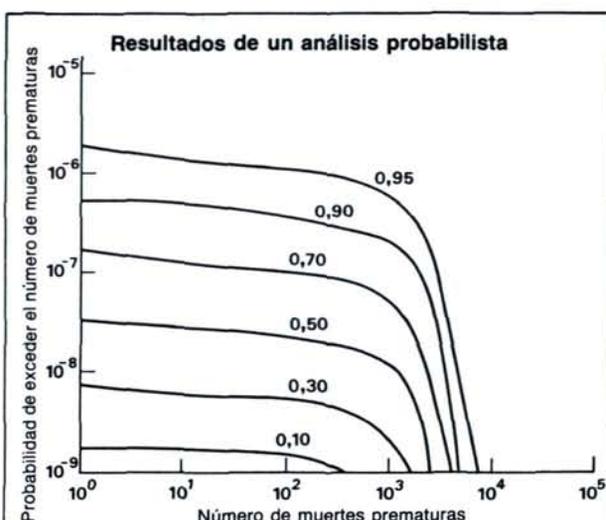
Como complemento de los estudios sobre las comparaciones de los riesgos de los sistemas energéticos, y a la luz del análisis general que acabamos de hacer, en los últimos años se ha observado que se hace más hincapié en la gestión de los riesgos que en su comparación.

La comparación de los riesgos de las centrales de referencia permite tener una visión general de los mismos, pero esa información no basta para decidir si la seguridad de una central es suficiente. Una política racional de seguridad no puede tener como objetivo reducir (o aumentar) todos los riesgos al mismo nivel para la persona o para la sociedad en general. En cambio, parece lógico continuar reduciendo un riesgo bajo si esto se puede lograr fácilmente, o dejar un riesgo muy alto (si no es desproporcionado con respecto a otros riesgos) en ese nivel si fuera demasiado difícil (o costoso) reducirlo aún más. Un método que aborda sistemáticamente esta cuestión es el análisis costo-eficacia. (Para un ejemplo de los resultados véanse las gráficas adjuntas.)

El OIEA fomenta activamente el empleo de esos métodos y en 1983 comenzó un programa coordinado de investigación ("Comparaciones de la relación costo-eficacia en la reducción del riesgo entre diferentes sistemas energéticos"). Su propósito fundamental es coordinar en los Estados Miembros un determinado número de proyectos de investigación nacionales para la evaluación de los riesgos, como estudios de casos, empleando el método de la relación costo-eficacia.

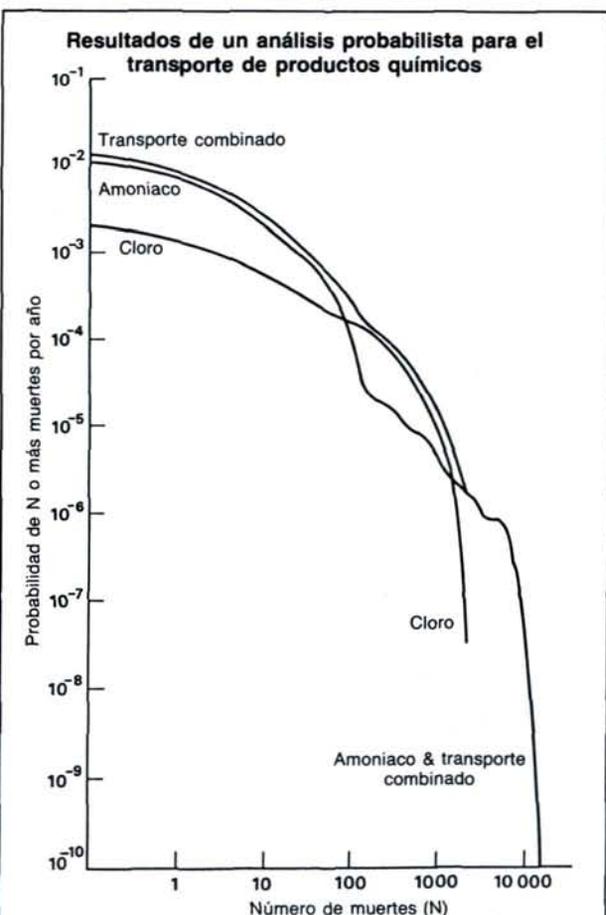
Quince Estados Miembros colaboran con el Organismo en este empeño\*. Hasta la fecha se han concluido 18

\* Los autores tienen a disposición de los interesados el informe de la segunda reunión de coordinación de la investigación; se prevé la publicación del informe final en 1988.



Fuente: Fitzpatrick, R., Arrieta, T., Teichmann, T., Davis, P., Probabilistic Risk Assessment (PRA) Insights, NUREG/CR-4405 (1985).

Los resultados se indican como la probabilidad de exceder cierto efecto (número de muertes prematuras en este caso) en función del efecto para un año de explotación de un reactor. La figura incluye también las estimaciones de las incertidumbres: por ejemplo la curva de 0,95 indica que se posee una confianza de 95% en el sentido de que los resultados "reales" están contenidos dentro de esta curva.



Fuente: Based on Seman, M.A., "International experience in assessment of risks due to oil and gas production and chemicals manufacture" en un taller OIEA/PNUMA/OMS, 13 a 17 de octubre de 1986, París, Francia.

El uso del análisis probabilista de seguridad no está limitado a la industria nuclear. Se presentan los resultados de un APS calculado para el transporte de cloro y amoniaco, utilizando su propio conjunto de supuestos acerca de las tasas de liberación, dispersión atmosférica y los efectos de estos compuestos en el hombre.

estudios de casos en los que se ha aplicado el sistema metodológico definido durante la primera reunión sobre el programa coordinado de investigación (PCI). Estos estudios tratan fundamentalmente de las diferentes instalaciones y operaciones relacionadas con el ciclo del combustible nuclear (minas de uranio, centrales eléctricas, transporte de materiales radiactivos, evacuación de desechos). Se están realizando otros diez estudios de casos que se concluirán antes de que finalice el PCI.

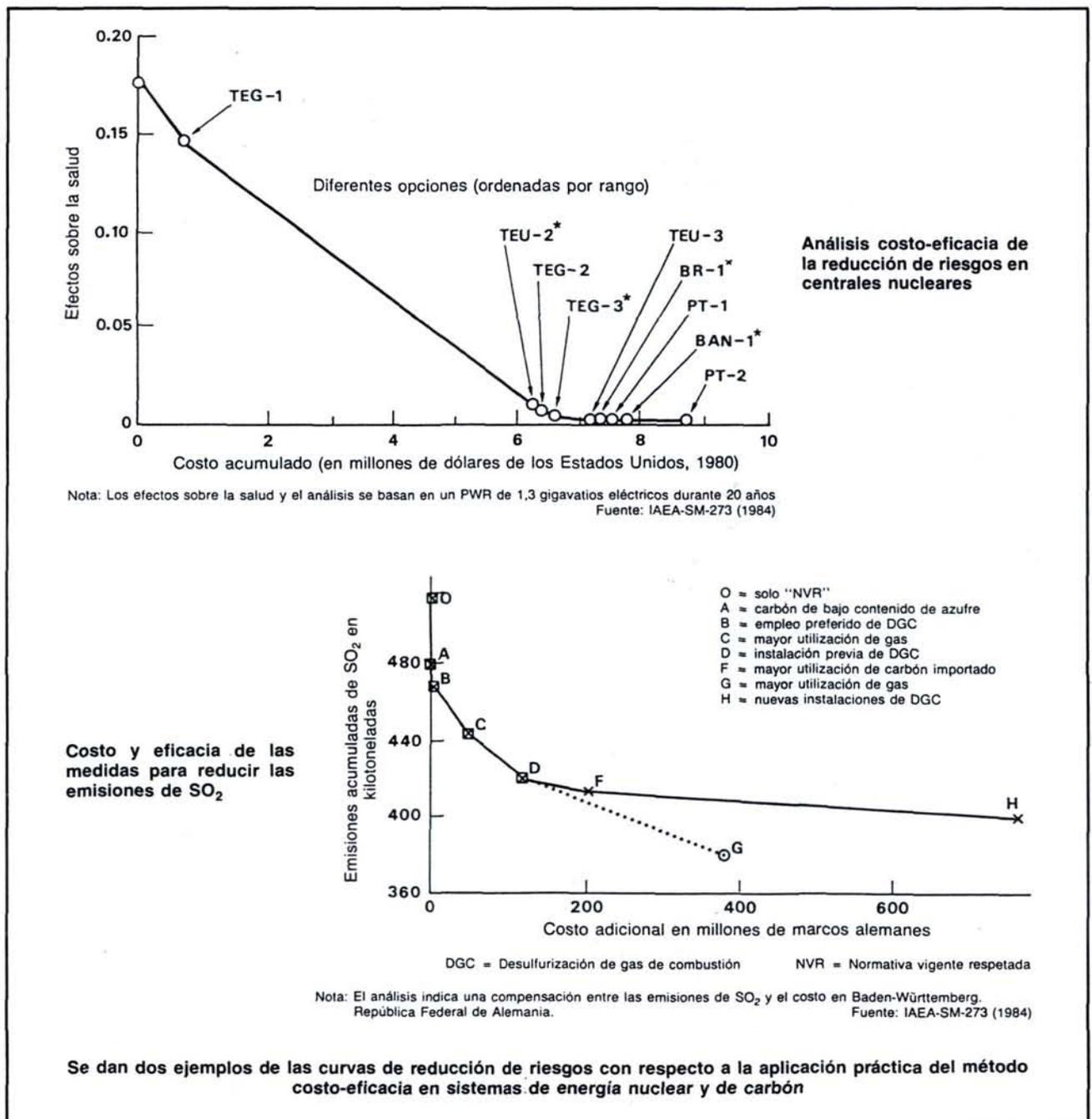
En la realización de estos estudios de casos ha quedado demostrado que en la esfera de las técnicas de gestión de los riesgos, el análisis de la reducción de los riesgos basado en la relación costo-eficacia es un método idóneo para evaluar y definir la asignación óptima de los recursos para protección y seguridad en los grandes sistemas industriales.

### Seguridad y gestión de los riesgos de accidentes graves

Quizás encontremos el mejor ejemplo de un sistema completo de evaluación de los riesgos y su gestión en la esfera de la energía nuclear.

Para cada central nuclear se realiza un estudio completo de las repercusiones ambientales. Consta de una parte dedicada a la seguridad de la explotación de la central y la evaluación de los riesgos profesionales de los trabajadores. Contiene además el cálculo de las emisiones habituales de radiactividad al medio ambiente, los niveles previstos de exposición del público y la evaluación de las consecuencias de grandes emisiones accidentales de radiactividad al medio ambiente.

Hay dos métodos para calcular las consecuencias ambientales de un accidente que ocurra en una central



### Ejemplo de un método integrado para la evaluación y gestión de los riesgos en regiones altamente industrializadas de un país

- Planes de caracterización de los riesgos
- Criterios normalizados de seguridad
- Normas y reglamentos de seguridad
- Definición de los niveles de amplitud cuando debería considerarse la reducción (gestión de los riesgos)

Política de seguridad

Gestión de las consecuencias de los riesgos

Estrategia para la reducción de los riesgos y control de los peligros

Evaluación general de las consecuencias

- Económicas
- Sociales
- Sanitarias
- Ambientales

- Delimitación de la zona
- Descripción de sistemas de referencia/procesos
- Lista y estudio de los riesgos
- Análisis riesgo/consecuencias
- Control de los peligros más importantes
- Costo-eficacia del análisis de reducción de los riesgos
- Planificación de emergencia

Fuente: Proyecto conjunto OIEA/PNUMA/OMS "Evaluación y gestión de los riesgos sanitarios y ambientales derivados de sistemas energéticos y otros complejos industriales".

nuclear. El modo tradicional se denomina método "determinista". Parte del inpuesto de un "accidente tipo" (AT) y calcula sus consecuencias para condiciones atmosféricas prudentes en comparación con las normas para niveles de exposición permisibles durante una situación de emergencia.

Un método más reciente es el análisis probabilista de seguridad (APS). No se define ningún escenario para un accidente, más bien un conjunto de escenarios, además de las probabilidades estimadas de que ocurra. Sobre la base de este conjunto se calculan las consecuencias ambientales en cuanto a muertes tempranas y tardías, enfermedades tempranas y tardías, y costos económicos, entre otros, teniendo en cuenta las posibles condiciones climáticas, la distribución de la población y el uso de la tierra. Los resultados obtenidos se presentan como probabilidades de ocurrencia y consecuencias concomitantes. Además, el método probabilista permite estimar y representar las incertidumbres del análisis. El empleo del análisis probabilista de seguridad no se limita a la industria nuclear. (Véanse gráficas adjuntas.)

A todas luces ese análisis tiene sus ventajas aunque no se emplee formalmente. Permite conocer mejor el comportamiento de la central en condiciones anormales, la interacción hombre-máquina, y la importancia relativa de las funciones, los sistemas y los componentes de seguridad. Es un instrumento más de instrucción y se puede emplear con diversos fines, entre otros, para diseñar medios auxiliares computerizados o para elaborar hipótesis sobre accidentes para el adiestramiento mediante simuladores. Ahora bien, además de todos estos conocimientos *cualitativos*, el APS proporciona también estimaciones *cuantitativas*.

Desde luego, el APS no puede suplir la falta de conocimientos, pero puede ayudar a determinar donde hay falta de información. Es necesario y conveniente también hacer un uso óptimo de estos resultados cuantitativos. Para ello hay que establecer un conjunto de criterios

probabilistas de seguridad (CPS) para poder evaluar los resultados del APS y gestionar los riesgos.

#### Hacia un método regional integrado

Los accidentes industriales catastróficos ocurridos hace poco como los de Bhopal, Chernobyl, y más recientemente, el accidente químico en Basilea, Suiza, han puesto tristemente de relieve la necesidad de determinar, evaluar y gestionar los riesgos derivados de las complejas actividades industriales para elevar al máximo la seguridad y disminuir al mínimo sus efectos perjudiciales para los trabajadores, el público en general y el medio ambiente. Por ello se impone la elaboración de un método integrado para la evaluación y la gestión de los riesgos en regiones muy industrializadas de un país.

En los últimos años las autoridades encargadas de seguridad de algunos países y organizaciones internacionales han centrado su atención en la necesidad de establecer y aplicar "políticas de seguridad" unificadas en relación con los riesgos derivados de las actividades tecnológicas.

La Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) ha aprobado varias "directrices" relativas a las instalaciones que provocan riesgos de envergadura, a la contaminación del aire por plantas industriales y a otros riesgos. El objetivo fundamental es implantar en los países europeos una política común para la gestión de los riesgos elevados y sus consecuencias en el caso de instalaciones industriales, que por razones técnicas y económicas están concentradas en determinadas regiones de un país.

En los últimos años algunos países industrializados como los Estados Unidos, Francia, la República Federal de Alemania, los Países Bajos y Suiza han llevado a cabo estudios de casos basados en investigaciones destinadas a evaluar riesgos concretos en amplias zonas industrializadas. Por esa razón, el análisis cuantitativo de los riesgos, principalmente su gestión, se ha convertido en un

importante aspecto de la adopción de decisiones a altos niveles en cuanto a la reglamentación y protección de la salud pública y las consecuencias ambientales.

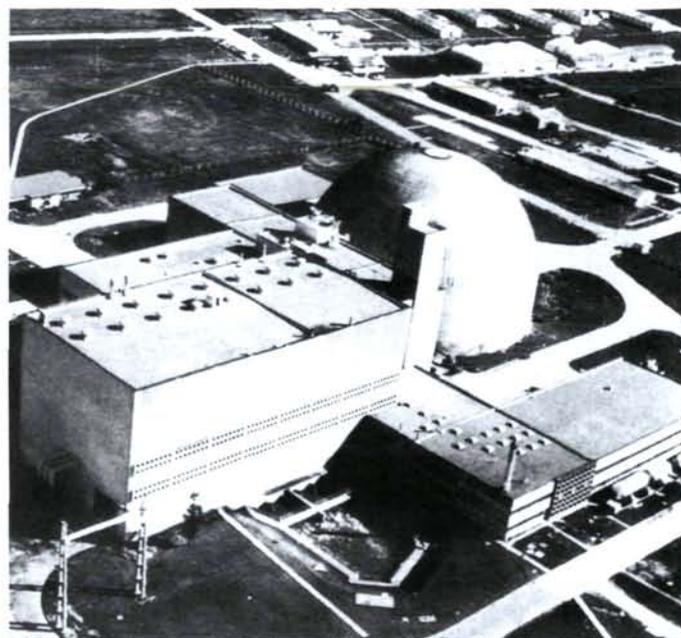
La gestión de los riesgos al nivel de las centrales no puede alcanzar los objetivos múltiples y complejos del proceso de adopción de decisiones relacionado con las consecuencias para el medio ambiente, la salud y los efectos socioeconómicos. Es preciso ampliar esta evaluación y este control de manera que abarque regiones donde hay instalaciones industriales diferentes en las que se toman en consideración diferentes objetivos de reducción de los riesgos. Los accidentes de Chernobil y Basilea han demostrado que esas regiones pueden abarcar zonas que pertenecen a diferentes Estados soberanos. Por ejemplo, hay que estructurar la definición de los planes de emergencia (parte importante de un proceso de gestión de los riesgos) en las zonas industrializadas de manera que los planes sean flexibles y capaces de prever todos los accidentes graves que pudieran ocurrir en esa región.

### Proyecto conjunto OIEA/PNUMA/OMS

Una política de gestión de los riesgos entraña la definición de criterios y normas de seguridad cuantitativos, la elaboración de directrices y procedimientos y la creación de un mecanismo lógico para optimizar las decisiones normativas sobre la asignación de los fondos para la seguridad. Todo parece indicar pues que el método regional es el más apropiado para abordar los complejos problemas de la gestión tecnológica de los riesgos. En esta tarea el OIEA se unió al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y a la Organización Mundial de la Salud (OMS) para iniciar un proyecto conjunto sobre la evaluación y gestión de los riesgos para la salud y el medio ambiente derivados de los sistemas energéticos y de otros sistemas industriales complejos. (Véase el diagrama adjunto). Este es un método integrado que se basa en el principio de la asignación óptima de recursos para la reducción de los riesgos, teniendo en cuenta los objetivos múltiples y complejos del proceso de adopción de decisiones que supone. Esta nueva labor de investigación, que se efectuará mediante la realización de estudios de casos en países desarrollados y en desarrollo, tiene por objeto establecer un procedimiento sistemático unificado para la adopción de decisiones en situaciones de riesgo en zonas muy industrializadas de los países.

El proyecto consta de cuatro actividades fundamentales:

- Elaborar una guía de procedimientos de gestión de los riesgos y control de los peligros, basada en los resultados de algunos estudios de casos que se realizarán en los Estados Miembros.
- Establecer y explotar un sistema de acopio, evaluación y distribución de la información sobre métodos y sobre los efectos sobre la salud y el ambiente según proceda.
- Capacitar personal en gestión de los riesgos y control de los peligros.
- Promover un método de gestión de los riesgos y control de los peligros, y los procedimientos para la planificación de la producción y el uso de la energía, y de otras tecnologías complejas en el nivel nacional.



Atucha-I en la Argentina, central nuclear de 692 MW(e).

### Energía nucleoelectrónica en países en desarrollo (en 31 de diciembre de 1986)

	Reactores en explotación		Reactores en construcción		Reactores planificados	
	Número de unidades	Capacidad total neta (MW(e))	Número de unidades	Capacidad total neta (MW(e))	Número de unidades	Capacidad total neta (MW(e))
Argentina	2	935	1	692	2	ND
Brasil	1	626	1	1245	1	1245
Bulgaria	4	1632	2	1906	2	1906
Corea, Rep. de	7	5380	2	1800	2	1800
Cuba	—	—	2	816	—	—
Checoslovaquia	7	2799	9	5508	—	—
China	—	—	1	288	2	1800
Egipto	—	—	—	—	2	1000*
Hungría	3	1235	1	410	2	1900
India	6	1154	4	880	4	200
Irán, Rep. Isl. del	—	—	2	2400	—	—
Iraq	—	—	—	—	1	400
Jamahiriya Arabe Libia	—	—	—	—	1	408
México	—	—	2	1308	—	—
Pakistán	1	125	—	—	1	900
Polonia	—	—	2	880	10	8430
Rumania	—	—	3	1980	1	660
Tailandia	—	—	—	—	1	900
Taiwán, China	6	4918	—	—	4	4120
Turquía	—	—	—	—	1	ND
Yugoslavia	1	632	—	—	1	1000

ND = No disponible.

\* = Capacidad de una sola unidad.

Fuente: PRIS del OIEA